

Evaluation des contributions non diffractives à la formation et l'analyse des hologrammes de particules

F. R.A. Onofri, Fabrice Lamadie

▶ **To cite this version:**

F. R.A. Onofri, Fabrice Lamadie. Evaluation des contributions non diffractives à la formation et l'analyse des hologrammes de particules. CFTL 2022 - 17ème Congrès Francophone de Techniques Laser, M-R. Vetrano, Sep 2022, Louvain, Belgique. pp.9.1. hal-03810096

HAL Id: hal-03810096
https://hal.science/hal-03810096

Submitted on 11 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

ÉVALUATION DES CONTRIBUTIONS NON DIFFRACTIVES A LA FORMATION ET L'ANALYSE DES HOLOGRAMMES DE PARTICULES

Fabrice R.A. Onofri[1,*], Fabrice Lamadie[2]

1 Aix-Marseille Université, CNRS, IUSTI, UMR 7343, 13453 Marseille Cedex 13, France
2 CEA, DEN, DMRC, Univ Montpellier, Marcoule, France

Correspondant : fabrice.onofri@univ-amu.fr

Résumé : L'influence des mécanismes de diffusion non diffractifs sur la formation et l'analyse des hologrammes de Gabor sur support digital (Digital-In-Line-Holography, DIH, en anglais) est étudiée numériquement. Les calculs électromagnétiques sont réalisés avec la théorie de Lorenz-Mie, les séries de Debye et le principe de l'approximation localisée. Les résultats obtenus démontrent clairement l'importance de la prise en compte des ondes partiellement réfractées et, dans une moindre mesure, des effets des ondes de bord.

1 Introduction

La DIH est généralement considérée comme une technique de diffraction laser opérant en champ proche, au sens où le nombre de Fresnel associé est grand devant l'unité, $F \geq 1$ [1]. Produit par la discontinuité des propriétés optiques du milieu de propagation à la frontière des particules, l'hologramme ne dépend pas a priori de leur composition. Toujours dans cette vision simplifiée, la formation de l'hologramme peut être simplement modélisée avec la théorie de la diffraction scalaire et un modèle de particule réduit à un disque opaque à deux dimensions (ou un sténopé, selon le principe de Babinet) [1]. Pour autant, ces dernières années, plusieurs groupes ont démontré que l'indice de réfraction (et donc le matériau composant la particule) pouvait aussi être déduit de l'analyse des hologrammes obtenus par DIH. Pour les particules de taille micrométrique, cette mesure est obtenue en utilisant une méthode paramétrique minimisant la différence entre les profils d'intensité des hologrammes expérimentaux et ceux calculés avec la théorie de Lorenz-Mie [2]. Pour les particules plus grandes, l'indice est mesuré directement à partir de l'analyse de la position relative du jet photonique (également appelé région de focalisation ou caustique des rayons simplement réfractés) [3-6]. Ces deux approches infirment clairement le bienfondé d'une vision purement diffractive de la formation des hologrammes. Pour aller plus loin, et notamment pour obtenir des mesures plus précises ou des informations supplémentaires sur les particules, il est fondamental de mieux comprendre comment leur composition et les différents mécanismes de diffusion influencent la formation des hologrammes. Ceci est important aussi bien pour les méthodes d'analyses directes (à l'aide d'indicateurs de refocalisation [4-6]), que pour les méthodes inverses [7]). Cette communication rapporte et analyse ces contributions relatives avec une attention particulière sur les mécanismes de diffusion non diffractifs.

2 Les bases du modèle

Notre modèle de simulation des hologrammes repose sur les résultats de la théorie de Lorenz-Mie [8, 9], ceux de la méthode de décomposition en séries de Debye [10] et ceux de l'approximation localisée [11-13]. Dans les grandes lignes, il permet de simuler l'interférence dans le champ proche ou lointain de l'onde incidente avec toute particule sphérique, homogène, à cœur ou stratifiée en indice [14], avec le champ électromagnétique diffusé par celle-ci. Au sens de l'optique géométrique, ce champ est lui-même la contribution de processus classiques, comme la réflexion spéculaire, la réfraction simple (p=1) ou les réfractions d'ordre p avec p-1 réflexions internes [15, 16]. Les contributions des processus de réfraction $p \geq 1$ sont directement accessibles via les séries de Debye. La réflexion spéculaire ($p=0_{spec}$) est également accessible via les séries de Debye mais en la distinguant des contributions purement diffractives ($p=0_{diff}$) et des contributions des ondes de surface. Pour ce faire, nous utilisons l'approximation localisée.

3 Résultats numériques et analyse

Les résultats numériques présentés ici permettent tout d'abord de mettre en évidence diverses caractéristiques de la méthode « du jet photonique ». Cette dernière a été introduite pour estimer simultanément la taille des particules, leur indice de réfraction, leur position en 3D et leur dynamique [4-6]. La figure 1 (a) montre des résultats obtenus pour une gouttelette d'huile dans l'eau, de rayon a=50µm et d'indice de réfraction relatif m=1.0832 pour une onde non polarisée de longueur d'onde locale λ=0.4753µm. Avec, de haut en bas : le calcul direct de l'intensité électromagnétique totale dans le champ proche et le plan (yz), la forme du front d'onde (phase du champ total en partie déroulée), et le profil d'intensité du champ le long de l'axe optique. Alors que la figure 1 (a) tient compte de tous les processus de diffusion

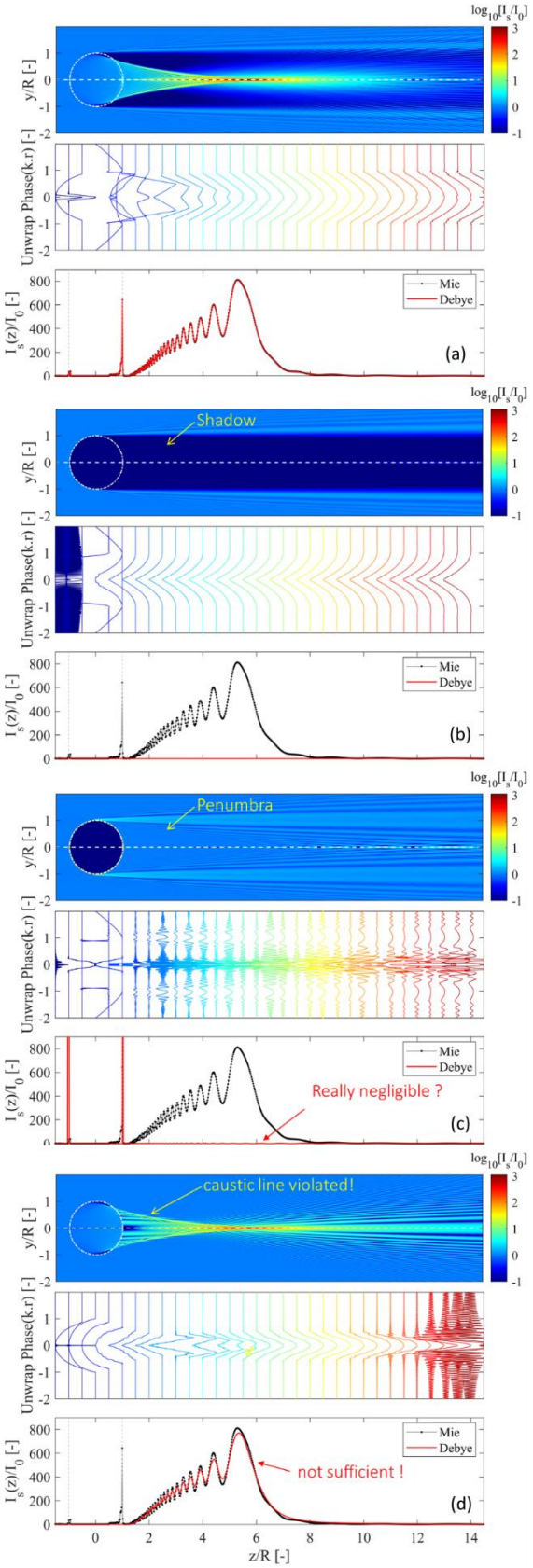


Figure 1 Caractéristiques du champ proche

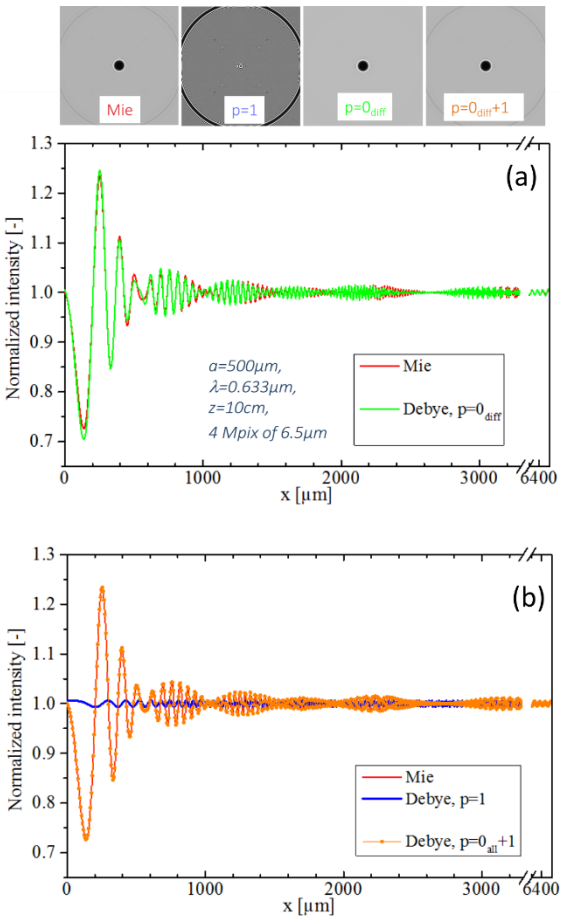


Figure 2 Contribution de différents processus de diffusion au profil en intensité de l'hologramme.

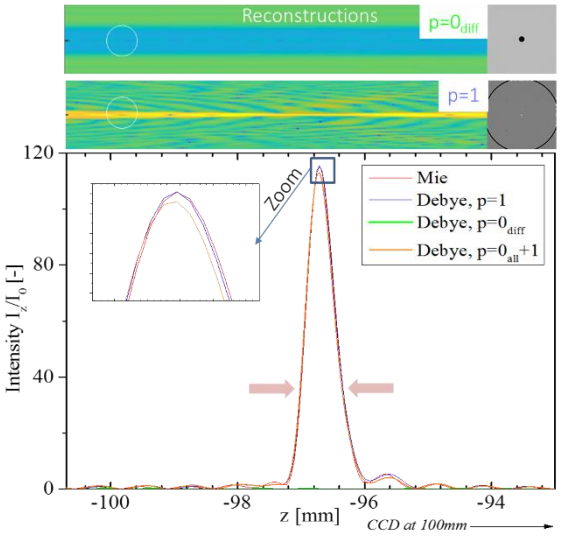


Figure 3 Comparaison des champs reconstruits

(résultats LMT complets), les figures 1 (b, c et d) ne rendent compte que (b) de la diffraction pure (géométrique et donc indépendante du matériau de la particule), (c) de tous les termes non diffractifs inclus dans l'ordre p=0 (c'est-à-dire les ondes spéculaires, rasantes, à effet tunnel et de surface) et (d) de la réfraction simple. On peut remarquer en (a) le bon accord entre résultats de la LMT et ceux de la décomposition de Debye pour le champ externe ainsi que pour le champ interne. Dans la figure 1 (b), la contribution des composantes non-diffractives dans la région du jet photonique est clairement perceptible, quand la figure 1 (d) montre que la structure de la caustique générée par les rayons réfractés ne rend pas compte de toutes celles prédites par une LMT. Ces dernières remarques sont importantes pour toute tentative de développement d'une approximation d'optique géométrique ou d'optique physique de la formation du jet photonique. Dans le champ lointain, les termes non diffractifs ont une influence visible sur les caractéristiques de l'hologramme comme le montre la figure 2. Les paramètres utilisés pour ces simulations sont identiques à ceux du dispositif expérimental de la référence [5] (c'est-à-dire une caméra de 4 mégapixels située à 10 cm d'une goutte d'eau dans l'air de 1 mm de diamètre). On voit clairement à quel point les hologrammes sont sensibles à la diffraction pure et à quel point les contributions de la réfraction simple sont faibles quand on s'éloigne de la particule, d'où l'intérêt de la méthode du jet photonique.

La figure 3 compare les hologrammes rétropropagés lorsque l'on prend en compte uniquement la diffraction pure ou lorsque l'on y ajoute la réfraction simple. Les différences sont plutôt faibles entre les profils d'intensité axiale. Cependant, le contraste du jet photonique reconstruit, par rapport au fond environnant, apparaît plutôt bruité, ce qui suggère que le seul ajout du terme de réfraction simple n'est peut-être pas suffisant.

4 Conclusion et perspectives

L'influence des mécanismes de diffusion non diffractifs sur la formation et l'analyse des hologrammes en ligne est clairement démontrée. Les calculs et analyses présentés dans cette communication serviront d'outils de validation pour le développement d'approximations. Celles-ci seront à même de modéliser avec précision et rapidité ces différentes contributions, dans la perspective, notamment, de développer des méthodes inverses plus performantes.

5 References

[1] J.W. Goodman, Introduction to Fourier Optic, Mac. Graw-Hill, New York, (1960).

[2] S.-H. Lee, Y. Roichman, G.-R. Yi, S.-H. Kim, S.-M. Yang, A.v. Blaaderen, P.v. Oostrum, D.G. Grier, Characterizing and tracking single colloidal particles with video holographic microscopy, Opt. Express, 15 (2007) 18275-18282.

[3] L. Tian, H. Gao, G. Barbastathis, Digital holographic imaging of multi-phase flows, Imaging and Applied Optics, Optical Society of America, Toronto, 2011, pp. CWB5.

[4] M.P.L. Sentis, F.R.A. Onofri, F. Lamadie, Bubbles, drops, and solid particles recognition from real or virtual photonic jets reconstructed by digital in-line holography, Opt. Lett., 43 (2018) 2945-2948.

[5] M.P.L. Sentis, F.R.A. Onofri, F. Lamadie, Photonic jet reconstruction for particle refractive index measurement by digital in-line holography, Opt. Express, 25 (2017) 867-873.

[6] M.P.L. Sentis, L. Bruel, S. Charton, F.R.A. Onofri, F. Lamadie, Digital in-line holography for the characterization of flowing particles in astigmatic optical systems, Opt. Lasers Eng., 88 (2017) 184-196.

[7] A. Berdeu, O. Flasseur, L. Méès, L. Denis, F. Momey, T. Olivier, N. Grosjean, C. Fournier, Reconstruction of in-line holograms: combining model-based and regularized inversion, Opt. Express, 27 (2019) 14951-14968.

[8] C.F. Bohren, D.R. Huffman, Absorption and scattering of light by small particles, Wiley & Sons, New york, 1998.

[9] S.C. Barber, P.W. Hill, Light Scattering by particles : computational methods, World Scientific, London, 1990.

[10] J.A. Lock, C.L. Adler, Debye-series analysis of the first-order rainbow produced in scattering of a diagonally incident plane wave by a circular cylinder, J. Opt. Soc. Am. A, 14 (1997) 1316-1328.

[11] H.M. Nussenzveig, Diffraction effects in semiclassical scattering, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

[12] H.M. Nussenzveig, Uniform approximation in scattering by spheres, Journal of Physics A: Mathematical and General, 21 (1988) 81-109.

[13] G. Gouesbet, J.A. Lock, G. Gréhan, Generalized Lorenz–Mie theories and description of electromagnetic arbitrary shaped beams: Localized approximations and localized beam models, a review, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf., 112 (2011) 1-27.

[14] F. Onofri, G. Gréhan, G. Gouesbet, Electromagnetic scattering from a multilayered sphere located in an arbitrary beam, Appl. Opt., 34 (1995) 7113-7124.

[15] M.P.L. Sentis, F.R.A. Onofri, L. Méès, S. Radev, Scattering of light by large bubbles: Coupling of geometrical and physical optics approximations, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf., 170 (2016) 8-18.

[16] H.C. van de Hulst, Light Scattering by Small Particles, Dover Publications, New-York, 1957.